



POTENCIAL PARA A PRODUÇÃO DE ETANOL DE RAÍZES DE MANDIOCA EM SEIS CLONES AVALIADOS EM DIFERENTES DENSIDADES POPULACIONAIS

Ingrid Figueiredo **Bittencourt**¹; Eduardo Barreto **Aguiar**²; Cassia Regina Limonta **Carvalho**³;
Teresa Losada **Valle**⁴

Nº 14116

RESUMO – A mandioca produz raízes tuberosas que armazenam amido. Para a produção de etanol o amido precisa ser hidrolisado em glicose permitindo a fermentação alcoólica. Atualmente a hidrólise enzimática do amido é bem conhecida, principalmente após o aperfeiçoamento dos processos de produção de etanol a base de milho nos EUA. Com o objetivo de avaliar o potencial para a produção de etanol de raízes de mandioca, o presente trabalho estudou o efeito de quatro densidades populacionais: 7.500, 17.500, 27.500 e 37.500 plantas.ha⁻¹ em seis clones de mandioca. Os teores de amido e açúcar redutores foram estimados por espectrofotometria de reflectância difusa na região do infravermelho próximo e método de regressão dos quadrados mínimos parciais (PLS). A partir dos teores de carboidratos fermentescíveis (amido e glicose) calculou-se o potencial teórico para a produção de etanol. Os clones IAC 14, IAC 90 e IAC 9/90 demonstraram tendência de aumento do rendimento potencial de etanol com o incremento das densidades populacionais. Já os clones IAC 48/98 e IAC 126/96 obtiveram menores rendimentos potenciais de etanol nas altas densidades. O clone IAC 189/01 não variou o rendimento potencial de etanol nas densidades populacionais avaliadas. Não houve variação significativa nos teores de açúcares fermentescíveis em todos os clones em função das densidades populacionais.

Palavras-chaves: *Manihot esculenta* Crantz, álcool, energia, combustível.

¹Autor, Bolsista CNPq (PIBIC): Graduação em Química Tecnológica, PUC, Campinas-SP; ingrid.fittencourt@gmail.com

²Colaborador: Bolsista de Pós-doutorado, FAPESP, IAC Campinas-SP

³Colaborador: Pesquisadora científica, IAC Campinas-SP

⁴Orientador: Pesquisadora científica, IAC Campinas-SP; teresalv@iac.sp.gov.br



ABSTRACT *Cassava produces tuberous roots that store starch. For the production of ethanol starch needs to be broken down to glucose allowing the alcoholic fermentation. Currently the enzymatic hydrolysis of starch is well known, especially after the improvement of the processes of ethanol production from corn in the USA. In order to evaluate the potential for the production of ethanol from cassava roots the present work studied the effect of four densities: 7.500, 17.500, 27.500 and 37.500 plants.ha⁻¹ in six cassava clones. The starch and sugar were evaluated by near-infrared diffuse reflectance spectroscopy and partial least squares (PLS) regression method. From the content of fermentable carbohydrates (starch and glucose) was calculated theoretical potential for the production of ethanol. IAC 14, IAC 90 and IAC 9/90 clones showed tendency to increase the potential yield of ethanol with increasing population densities. Have IAC 48/98 and IAC 126/96 clones had lower potential yields of ethanol at high densities. The IAC 189/01 clone did not change the potential ethanol yield in the evaluated population densities. There was no significant variation in the levels of fermentable sugars in all clones on the basis of population densities.*

Key-words: *Manihot esculenta* Crantz, alcohol, energy, fuel.

1 INTRODUÇÃO

A necessidade atual de redução da emissão de gases de efeito estufa, juntamente com a demanda mundial por energia limpa, trouxe a tona novas discussões sobre outras matérias-primas para a produção de combustíveis. Certa atenção vem sendo dada à produção de energia de culturas amiláceas, como o milho e a mandioca. Devido à tolerância a regiões secas com altas temperaturas e solos de baixa fertilidade (HOWELER, 2002), a cultura de mandioca pode ser considerada adaptada a estes ambientes, promovendo rendimentos satisfatórios (VALLE et al., 2009).

Em alguns países da Ásia, a produção de etanol de mandioca encontra-se em expansão (SRIROTH, 2010). As usinas de etanol de mandioca podem ser consideradas de baixo custo quando comparada às usinas de cana-de-açúcar (LORENZI e MONTEIRO, 1980). Por serem menores, podem ser melhor distribuídas nas diversas regiões produtoras, servindo como instrumento de desenvolvimento regional em programas de políticas públicas de geração de energia (VALLE et al., 2009).



8º Congresso Interinstitucional de Iniciação Científica – CIIC2014 12 a 14 de agosto de 2014 – Campinas, São Paulo

As matérias-primas vegetais para a produção de energia podem ser classificadas em produtoras de açúcares fermentescíveis como cana-de-açúcar e beterraba, amiláceas como mandioca e milho, e produtoras de celulose e hemicelulose, como o eucalipto e outras. As matérias-primas amiláceas são capazes de acumular glicose na forma de amido. O amido pode ser hidrolisado em moléculas de glicose, que ao passarem pelo processo de fermentação industrial produzem o etanol.

O processo de quebra de amido (sacarificação) em moléculas de glicose por meio da hidrólise enzimática é uma técnica conhecida e atualmente considerada eficiente em termos industriais. O aperfeiçoamento dos processos de produção de etanol a base milho nos EUA impulsionou o desenvolvimento de tecnologias de produção de etanol amiláceo. Esse advento contribuiu para uma maior competitividade para a exploração dessas matérias-primas como produtoras de energia. A sacarificação do amido é realizada em dornas com temperatura controlada e, após esse processo, a obtenção de etanol de mandioca é semelhante ao de cana-de-açúcar passando pelos processos conhecidos de fermentação e destilação (SALLA, 2010).

O Brasil é um país de proporções continentais com ampla diversidade ambiental em seu território. Certamente, o melhor aproveitamento dessa diversidade para a produção de energia de biomassa, passa pela diversificação da matriz energética, utilizando outras matérias-primas mais adaptadas às diferentes condições climáticas e ambientais. A cultura da cana-de-açúcar, principal produtora de etanol no Brasil, possui sérias restrições climáticas em muitas regiões. Nessas regiões a mandioca pode apresentar vantagens competitivas não só em termos de potencial produtivo, mas também promover o melhor desenvolvimento social e distribuição de renda. Diferente da cana-de-açúcar, em termos econômicos, a produção de mandioca é viável em pequena escala podendo aproveitar a mão de obra familiar em módulos produtivos pequenos.

As produtividades médias no Estado de São Paulo variam de 15 a 40 t.ha⁻¹ para mandioca e de 60 a 105 t.ha⁻¹ para a cana-de-açúcar (IEA, 2014). O rendimento industrial médio de etanol (95,6°GL) de mandioca gira em torno de 187 L.t⁻¹ (CONCEIÇÃO, 1987; LEAL, 2010; SALLA, 2008) e de cana-de-açúcar 84 L.t⁻¹ (LEAL, 2010; SALLA, 2008). Considerando as maiores produtividades observadas no Estado de São Paulo, a produção de etanol de cana-de-açúcar pode atingir até 8.820 L.ha⁻¹, e de mandioca até 7.480 L.ha⁻¹. Esses valores se mostram bastante próximos e competitivos, se considerarmos os diferentes potenciais de produção dessas matéria-prima nas diversas regiões do estado.

O objetivo desse trabalho é avaliar o potencial teórico da produção de etanol em seis clones de mandioca em diferentes densidades populacionais.



2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Material vegetal - As análises de teor de amido e de açúcares redutores foram realizadas em raízes de mandioca provenientes de experimento de campo instalado em 2012, no Polo Regional Médio Paranapanema, Assis - SP, com seis clones de mandioca com alto potencial produtivo e arquitetura da parte aérea distinta: IAC 14, IAC 90, IAC 189/01, 48/98, 126/96 e 9/90, avaliados em quatro densidades populacionais: 7.500, 17.500, 27.500 e 37.500 plantas.ha⁻¹. A colheita foi realizada doze meses após o plantio. O delineamento experimental foi em parcelas subdivididas, originando um fatorial 4 x 7, com quatro repetições de campo. As densidades populacionais foram sistematizadas em parcelas trapezoidais conforme modelo adaptado de AGUIAR (2003).

2.2 Produtividade - A produtividade em t.ha⁻¹ foi estimada a partir dos resultados médios observados por planta segundo o modelo de regressão $y = a.x^b$, conforme metodologia proposta por AGUIAR (2003; 2011).

2.3 Preparo das amostras - As amostras foram preparadas a partir de 300 gramas de raízes de mandioca trituradas, posteriormente secas em estufa com circulação de ar forçado, a 60° C, até peso constante, determinando-se, desse modo, o teor de matéria seca. Em seguida, as raízes desidratadas foram finamente trituradas em moinho do tipo Willey e IKA A11 e armazenadas em frascos plásticos vedados, em temperatura adequada.

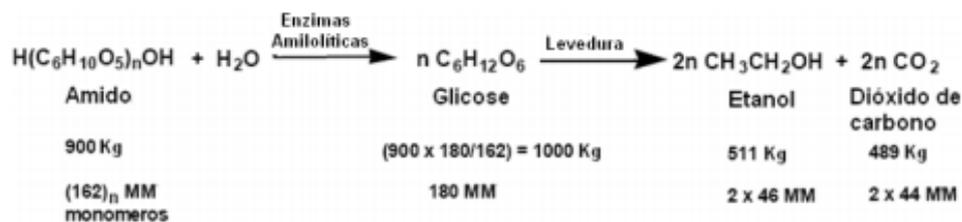
2.4 Coleta dos espectros na região do infravermelho próximo (NIR): de cada amostra de farinha de mandioca foram tomadas medidas de reflectância difusa, coletadas em espectrofotômetro FOSS NIRSystems, modelo 6500, equipado com detector PbS e lâmpada de filamento de tungstênio-halogênio. Os espectros foram registrados pelo software ISScanTM, versão 3.10 (Infrasoft Internacional, 2007), na faixa espectral de 1100 a 2498 nm, com os sinais expressos em log (1/R), em cela de 48 x 58 mm, à temperatura de 20-22°C e resolução espectral de 2 nm. Foram coletados dois espectros por amostra, correspondendo cada espectro a 64 varreduras da faixa espectral.

2.5 Quantificação dos teores de amido e de açúcares redutores - Para a quantificação do conteúdo de amido e de açúcares redutores dos acessos de mandioca em avaliação, foram empregadas curvas de calibração predeterminadas usando 170 amostras de genótipos de mandioca selecionados do Banco de Germoplasma do IAC e de vários ensaios regionais realizados pelo instituto no Estado de São Paulo. As curvas de calibração foram construídas pelo método de regressão por Quadrados Mínimos Parciais (PLS, *Partial Least Squares*), por meio do software *Pirouette 4.0* (Infometrix, 1990-2007) e tomando como base o trabalho de GIORA et al.



(2012). O intervalo de abrangência do modelo matemático construído para dosagem de amido correspondeu aos valores médios de 66,64 a 81,88% de amido. Para a dosagem de açúcares redutores, utilizaram-se amostras com teores variando de 0,27 a 4,22 % de açúcares redutores.

2.6 Conversões de amido para glicose e de açúcares fermentescíveis para etanol - A produção de etanol, em termos teóricos (100%), foi calculada a partir da produtividade das raízes de mandioca e dos teores de carboidratos fermentescíveis. Empregando as massas molares do amido e da glicose, efetuou-se a comparação estequiométrica com as massas molares do etanol e de gás carbônico, de acordo com a equação (CINELLI, 2012):



A partir da relação das massas molares, 162 g de amido produzem 180 g de glicose, ou seja, 900 Kg de amido produzem 1000 Kg de glicose. Comparando as massas molares entre glicose e etanol + gás carbônico, 180 g de glicose produzem 2x46 g de etanol e 2x44 g de gás carbônico. Desse modo, 1000 Kg de glicose produzem 511 Kg de etanol.

Segundo FERNANDES (2000), o rendimento estequiométrico da fermentação alcoólica pode também ser obtido de modo direto, multiplicando a massa de amido observada pelo fator 0,6475.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir dos resultados observados não houve variação significativa nos teores de amido e açúcares redutores em função das densidades populacionais para a maioria dos acessos estudados (Figura 1). As variações observadas foram pequenas sugerindo estarem relacionadas ao desvio e não ao efeito de densidades populacionais, com exceção do acesso IAC 48/98, que demonstrou menores teores de carboidratos fermentescíveis em relação aos demais, principalmente nas densidades mais elevadas (27.500 e 37.500 plantas.ha⁻¹).



8º Congresso Interinstitucional de Iniciação Científica – CIIC2014
12 a 14 de agosto de 2014 – Campinas, São Paulo

De maneira geral, podemos considerar que todos os acessos avaliados possuem alto teor de açúcares fermentescíveis, com valores médios muito próximos, variando de 76,41 a 77,06%. Apenas o acesso IAC 48/98 apresentou valor médio abaixo desta faixa, igual a 75,27%.

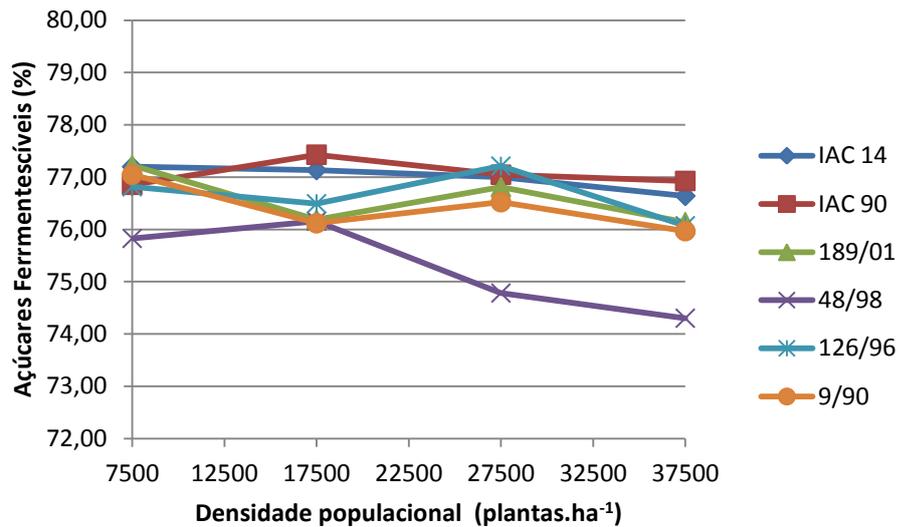


Figura 1. Teor de açúcares fermentescíveis (%) de seis clones de mandioca avaliados em quatro densidades populacionais (plantas.ha⁻¹), colhidos com 12 meses. Assis-SP 2012/2013.

Os clones IAC 14, IAC 90 e IAC 9/90 demonstraram tendência de aumento do rendimento de etanol com o incremento das densidades populacionais (Figura 2). Esses resultados podem estar relacionados com a arquitetura da parte aérea, menos ramificada nestes clones, permitindo uma melhor utilização da área nas altas densidades populacionais. Por outro lado, os clones IAC 48/98 e IAC 126/96 mostraram redução no rendimento de etanol com o aumento da densidade de plantio. Esses clones possuem menor porte e arquitetura da parte aérea mais ramificada, que pode ter influenciado negativamente nos rendimentos observados nas altas densidades de plantio, possivelmente pelo maior sombreamento e competição entre plantas. O clone IAC 189/01, de arquitetura intermediária, não demonstrou efeito na produção de etanol em função das densidades populacionais. Evidencia-se nesse caso elevada plasticidade em função das densidades de plantio para este clone.

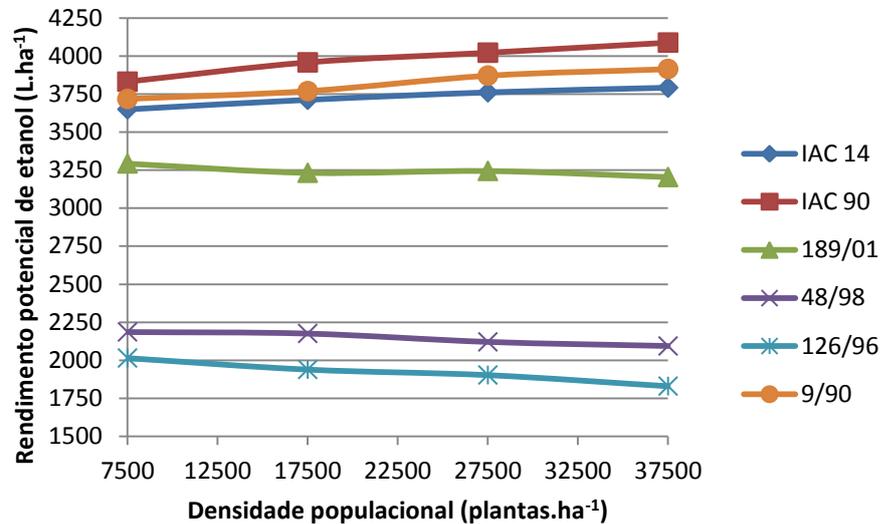


Figura 2. Rendimento potencial de etanol (L.ha⁻¹) de seis clones de mandioca avaliados em quatro densidades populacionais (plantas.ha⁻¹), colhidos com 12 meses. Assis-SP 2012/2013.

4 CONCLUSÃO

1. A densidade populacional não altera o teor de açúcares fermentescíveis em clones de mandioca;
2. A densidade populacional afeta de maneira diversa o rendimento potencial de etanol. Altas densidades podem aumentar ou ainda reduzir o rendimento de etanol dependendo do clone de mandioca.

5 AGRADECIMENTO

Os autores agradecem ao CNPq e à FAPESP pelas bolsas concedidas.

6 REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

AGUIAR, E. B. **Estudo da poda da mandioca (*Manihot esculenta* Crantz)**. 2011, 144f. Tese (Doutorado em Agronomia/Agricultura) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 2011.



8º Congresso Interinstitucional de Iniciação Científica – CIIC2014
12 a 14 de agosto de 2014 – Campinas, São Paulo

AGUIAR, E. B. **Produção e qualidade de raízes de mandioca de mesa (*Manihot esculenta* Crantz) em diferentes densidades populacionais e épocas de poda.** 90f. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical e Subtropical) – Instituto Agronômico, Campinas, 2003.

CONCEIÇÃO, A. J. **A mandioca.** São Paulo: Nobel, 3ª Edição, 2ª Reimpressão, p. 382, 1987.

FERNANDES, A. C. **Cálculos na indústria de cana-de-açúcar,** STAB: Sociedade dos Técnicos Açucareiros e Alcooleiros do Brasil, Piracicaba, SP, 2000.

GIORA, F. C.; MATSUMOTO, D.; PRIOLLI, R.H.G.; CARVALHO, C.R.L. Predição do teor de óleo em sementes de soja pela técnica de espectroscopia de reflectância no infravermelho próximo. In: CONGRESSO INTERINSTITUCIONAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 6., 2012, Jaguariúna. **Anais...** Jaguariúna: EMBRAPA, ITAL, 2012. 1CD-ROM. RE12157.

HOWELER, R. H. Cassava mineral nutrition and utilization. In: HILLOCKS, R. J.; THRESH J. M.; BELLOTTI, A. C. (Eds.). **Cassava: biology, production and utilization.** Wallingford: CABI, p. 115-147, 2002.

INSTITUTO DE ECONOMIA AGRÍCOLA. **Valor da produção dos principais produtos agrícolas.** Disponível em: <http://ciagri.iea.sp.gov.br/nia1/vp.aspx?cod_sis=15>. Acesso em 08 de jul. 2014.

LEAL, M. R. L. V.; VALLE, T. L.; FELTRAN, J. C.; CARVALHO, C. R. L. Outras matérias-primas para a produção de etanol. In: **Bioetanol de cana-de-açúcar: P&D para a produtividade e sustentabilidade.** São Paulo: Blucher, p.519-539, 2010.

LORENZI, J. O.; MONTEIRO, D.A. **A mandioca (*Manihot esculenta* Cratz) como matéria-prima para produção de etanol no Brasil.** Campinas: Instituto Agronômico, 1980. 80 p. (Boletim técnico, 67).

SALLA, D. A.; FURLANETO, F. P. B.; CABELLO, C.; KANTHACK, R. A. D. **Análise energética de sistemas de produção de etanol de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz).** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v. 14, n. 4, p.444-448, 2010.

SALLA, D.A. **Análise energética de sistemas de produção de etanol de mandioca, cana-de-açúcar e milho.** 2008, 168f. Tese (Doutorado em Energia na Agricultura) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônomicas, Botucatu, 2008.

SRIROTH, K.; PIYACHOMKWAN, K.; WANLAPATIT, S.; NIVITCHANYONG, S. The promise of a technology revolution in cassava bioethanol: from Thai practice to the world practice. **Fuel**, London, n. 89, p. 1333-1338, 2010.

VALLE, T. L.; FELTRAN, J. C.; CARVALHO, C. R. L. **Mandioca para a produção de etanol.** Infobibos. 2009. Disponível em: <http://www.infobibos.com/Artigos/2009_4/mandioca/index.htm>. Acesso em: 6 jul. 2014.